Flächennutzungsmonitoring V
Methodik – Analyseergebnisse – Flächenmanagement

IÖR Schriften Band 61 · 2013

ISBN: 978-3-944101-18-7

Einsatzmöglichkeiten der Erdbeobachtung auf dem Weg zur Umsetzung einer nachhaltigen Energieversorgung

Thomas Esch, Markus Tum

Esch, T.; Tum, M. (2013): Einsatzmöglichkeiten der Erdbeobachtung auf dem Weg zur Umsetzung einer nachhaltigen Energieversorgung. In: Meinel, G.; Schumacher, U.; Behnisch, M. (Hrsg.): Flächennutzungsmonitoring V. Methodik – Analyseergebnisse – Flächenmanagement. Berlin: Rhombos, IÖR Schriften 61, S. 279-286.

Einsatzmöglichkeiten der Erdbeobachtung auf dem Weg zur Umsetzung einer nachhaltigen Energieversorgung

Thomas Esch, Markus Tum

Zusammenfassung

Die Erschließung erneuerbarer Energien gehört zu den wichtigsten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Von zentraler Bedeutung sind in diesem Zusammenhang die Bewertung von Flächenpotenzialen, die Bestimmung geeigneter Standorte, die Abwägung von Nutzungsinteressen sowie die Erfassung von Trends und Auswirkungen auf die Landschaftsgestaltung. Für diese Anforderungen und Aufgaben sind aktuelle, in ihrer räumlichen und thematischen Güte hochwertige Geodaten ein unverzichtbarer Bestandteil. Mit Blick auf die Erhebung von Geoinformationen auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Skalen hat sich die Satellitenfernerkundung zu einem erfolgreichen Werkzeug entwickelt. So bieten die Erdbeobachtung und darauf basierende Geoinformationsdienste vielversprechende Nutzungspotenziale hinsichtlich der Ergänzung bestehender sowie Bereitstellung fehlender Raumdatenbestände für energiebezogene Fragestellungen. Dieser Beitrag stellt beispielhaft Einsatzmöglichkeiten der Fernerkundung sowie entsprechende Techniken und Geoinformationsprodukte zur Unterstützung eines Landmanagements dar, das auf die Erschließung von Potenzialen erneuerbarer Energien ausgerichtet ist.

1 Fernerkundung zur Unterstützung der Energiewende

Satellitensensoren liefern heute digitale Aufnahmen der Erdoberfläche in einer räumlichen Auflösung von rund einem Kilometer (z. B. MODIS, MERIS) bis hin zu unter einem Meter (z. B. WorldView, QuickBird, IKONOS). Die zeitliche Wiederholrate variiert zwischen täglichen Datenaufzeichnungen und Erhebungen im monatlichen Turnus. Dabei hat sich die Erdbeobachtungstechnologie in den vergangenen Jahren von einer zu Beginn eher experimentell geprägten Ausrichtung stetig in Richtung eines operationellen Betriebes entwickelt, der eine langfristige, regelmäßige und qualitätsgeprüfte Bereitstellung von Geodaten und höherwertigen Informationsprodukten gewährleistet. Damit können Daten und Produkte einerseits gezielt auf Anfrage für spezifische Anwendungen, Zeiten oder Regionen aufgezeichnet werden, andererseits lässt sich aber auch ein systematisches und flächendeckendes Monitoring der Erdoberfläche umsetzen. Vor diesem Hintergrund weist die satellitengestützte Erdbeobachtung auch mit Blick auf den Geodatenbedarf zur Umsetzung einer nachhaltigen Energieversorgung vielversprechende Einsatzmöglichkeiten auf.

Fernerkundungsunterstützte Anwendungen wie Windfeldanalysen, die Erhebung von Einstrahlungsdaten oder die Bestimmung von Solarflächenpotenzialen werden bereits seit einigen Jahren von Unternehmen kommerziell angeboten und sind fest in bestehende Planungsabläufe etabliert. Nichtsdestotrotz wurde im Rahmen verschiedener nationaler Veranstaltungen seitens Politik, Verwaltung, Planung, Privatwirtschaft und Wissenschaft wiederholt der Bedarf zur Bereitstellung fehlender bzw. Ergänzung bestehender Geodatenbestände und Geoinformationsprodukte zur Unterstützung der Energiewende in Deutschland formuliert.

2 Geodaten für den Energiesektor – Beispiele satellitenbasierter Auswertungen

Mit Blick auf den formulierten Bedarf nach räumlich und thematisch erweiterten Geodaten zur Unterstützung einer nachhaltigen Energieversorgung ist die Erhebung raumbezogener Daten aus Satellitenbildauswertungen gerade im Hinblick auf die Potenzialbewertung, Standortauswahl, Vermeidung von Nutzungskonflikten und das Monitoring von Auswirkungen und Trends als besonders nutzbringend einzuschätzen. Dies gilt etwa für die flächendeckende Bestimmung des Biomasseaufkommens im Kontext von Standortbewertungen oder die flurstückbezogene Erfassung landwirtschaftlicher Anbauprodukte zur Abschätzung von regionalen Strohpotenzialen. Darüber hinaus bietet sich der Einsatz von Fernerkundungsverfahren auch zur Erfassung, Visualisierung und Dokumentation von Entwicklungen und Trends an – z. B. bei der Umgestaltung von Landschaften vor dem Hintergrund energiepolitischer Entscheidungen oder dem wachsenden Energieverbrauch und steigenden Nutzungskonflikten im Zuge der stetig voranschreitenden Flächeninanspruchnahme durch Siedlungen und Verkehrsinfrastruktur. Nachfolgend werden exemplarisch drei aktuelle Forschungs- und Entwicklungsarbeiten der Abteilung Landoberfläche (LAX) des Earth Observation Centers (EOC) am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR) vorgestellt: die Modellierung von Bioenergiepotenzialen, die Erfassung landwirtschaftlicher Anbaumuster und die Bewertung von Siedlungsstrukturen hinsichtlich ihrer Eignung zum Aufbau von Wärmenetzen. Alle diese Anwendungen zielen auf die Unterstützung eines Landmanagements ab, das auf die Förderung einer nachhaltigen Energieversorgung ausgerichtet ist.

2.1 Potenzialanalyse Bioenergie

Das Biosphere Energy Transfer Hydrology (BETHY/DLR) Modell des DLR nutzt räumlich und zeitlich hochaufgelöste Fernerkundungsdaten bzw. daraus abgeleitete Parameter wie den Blattflächenindex (LAI) zur Quantifizierung von Biomasse- und Bioenergiepotenzialen. Als Eingangsdatensatz für die nachfolgend beschrie-

bene Auswertung dienten globale LAI-Daten, die in Form von 10-Tageskompositen als Zeitreihen zur Verfügung stehen sowie Informationen zur Landbedeckung und Landnutzung, die aus der Global Land Cover 2000 (GLC2000) Kartierung abgeleitet wurden. Neben diesen Fernerkundungsdaten benötigt BETHY/DLR diverse meteorologische Informationen zu Lufttemperatur, Niederschlag, Windgeschwindigkeit und Bewölkung. Diese Daten werden vom European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) in geeigneter Form bereitgestellt. Ferner nutzt BETHY/DLR Informationen über den dominierenden Bodentyp aus der Harmonized World Soil Database (HWSD) und ein Höhenmodell der Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

Das Pflanzenwachstum wird in Vegetationsmodellen wie BETHY/DLR so parametrisiert, dass in einem ersten Schritt die biochemischen Vorgänge der Photosynthese auf Blattebene modelliert werden. Daran anschließend erfolgt eine Extrapolation von der Blattebene auf die Bestandebene, wobei sowohl der Aufbau eines Bestandes als auch die Wechselwirkung (u. a. Energieflüsse, Wasserkreislauf) zwischen Boden, Atmosphäre und Vegetation in die Berechnungen einfließen. Als Ergebnis liefert das Modell zunächst die von der Vegetation pro Flächen- und Zeiteinheit aus der Atmosphäre aufgenommene Kohlenstoffmenge – die Gesamt Primär Produktion (GPP). Da jede Pflanze durch die autotrophe Atmung wieder Kohlenstoff in Form von CO_2 an die Atmosphäre abgibt, wird in der Bilanz weniger Kohlenstoff in Form von Biomasse in der Pflanze gebunden als ursprünglich aufgenommen wurde. Diese Ausgangsgröße des Modells bezeichnet man als Netto Primär Produktion (NPP). Mithilfe von Umrechnungsfaktoren kann die NPP in Biomassepotenziale und Energiepotenziale umgerechnet werden. Hierzu werden Konversionsfaktoren wie die Beziehung von Korn-zu-Stroh oder Rübe-zu-Blatt bzw. das Verhältnis von oberirdischer zu unterirdischer Biomasse ebenso benötigt, wie Informationen über den spezifischen Wassergehalt der trockenen Biomasse und dessen Energieertrag pro Kilogramm (unterer Heizwert). Zusätzlich sind noch Abschätzungen über Nutzungskonkurrenzen notwendig (z. B. Bodendüngung durch Stroh, Eintrag in Ställe etc.).

In Abbildung 1 sind land- und forstwirtschaftliche Bioenergiepotenziale für Deutschland im Jahr 2012 illustriert. Energiepotenziale aus Stroh sind lokal um den Faktor 10 niedriger als die Potenziale aus Holzzuwachs, da für die landwirtschaftlichen Potenziale aufgrund von Nutzungskonkurrenzen nur ein kleiner Anteil des Strohs (20 %) als energetisch nutzbar angenommen wird. Demgegenüber werden 80 % des Waldzuwachses als theoretisch nutzbar angesehen. Für das Jahr 2012 konnte für das gesamte Bundesgebiet insgesamt ein Energiepotenzial in Höhe von 572 Petajoule (PJ) für die Landwirtschaft und 1938 PJ für Forstflächen berechnet werden.

Eine detaillierte Beschreibung aller Eingangsdaten sowie der Methodik zur Modellierung der NPP und Umrechnung von NPP in landwirtschaftliche und forstliche Energiepotenziale findet sich in Tum et al. (2011) und Tum et al. (2012).

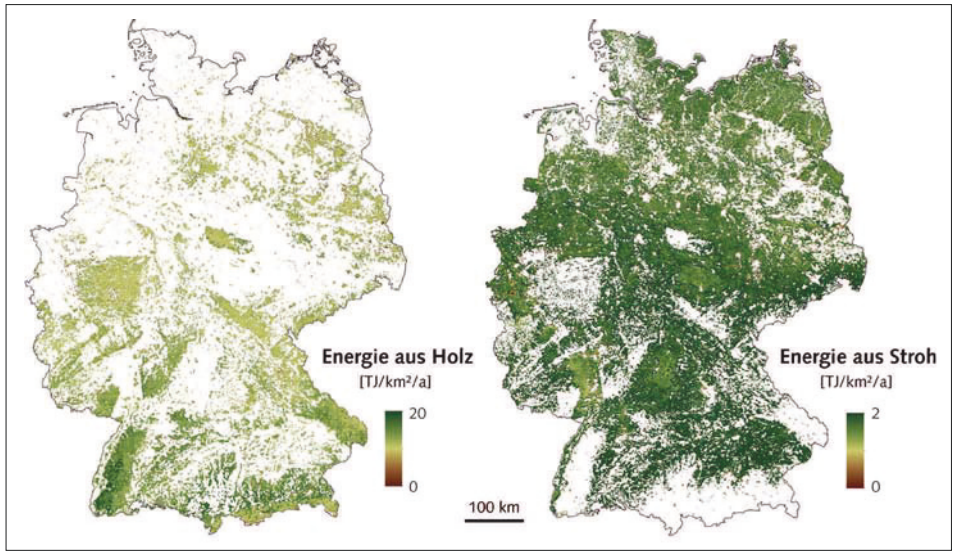

Abb. 1: Energiepotenziale aus Holzzuwachs (Forst) und Stroh (Landwirtschaft) in TJ/km²/a für das Jahr 2012 (Quelle: DLR)

2.2 Kartierung landwirtschaftlicher Anbaumuster

Im Zusammenhang mit der Klimaschutzpolitik, den Anstrengungen zur Reduzierung des CO_2-Verbrauches sowie der Umsetzung einer nachhaltigen Energieversorgung ist mit Blick auf die landwirtschaftliche Produktion in Deutschland die verstärkte Nutzung von Bioenergie-Rohstoffen als neue Komponente neben Aspekten wie Ernährungssicherheit, Nahrungsmittelqualität und nachhaltiger Bewirtschaftung hinzugekommen. Dies schlägt sich u. a. in der Förderpolitik hinsichtlich Biogasanlagen und im Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) nieder. So hat die Möglichkeit, Ökostrom aus Biogasanlagen über das EEG vergütet zu bekommen, den Anbau von Feldfrüchten in der letzten Dekade stark beeinflusst – z. B. in Form einer Zunahme der Anbaufläche von Silomais (DMK, 2013). Die neuen Fördermaßnahmen für den Anbau von Energierohstoffen sind auch ein Treiber für die vermehrte Umwidmung von Grünlandflächen in ackerbaulich genutzte Areale. Neben dem Verlust von Anbauflächen für die Nahrungsmittelproduktion sind dabei vor allem die ökologischen Auswirkungen des großflächigen Anbaus von Mais oder anderen Energienutzpflanzen kritisch zu bewerten.

Die teils rapiden Wandlungsprozesse in der Kulturlandschaft führen vor Augen, dass eine kontinuierliche und zeitnahe Beobachtung der Nutzungsintensität und Anbauflächenentwicklung notwendig ist, um Trends und (regionale) Fehlentwicklungen im Sinne einer nachhaltigen Bewirtschaftung schneller identifizieren und auf Basis dieser Informationen effektiv gegensteuern zu können. Die Satellitenfernerkundung bietet hierzu eine ideale Basis, da sie räumlich und zeitlich präzise Analysen ermög-

licht, die zudem leicht in räumliche Informationssysteme integriert und dort mit weiteren Daten – etwa statistischen Informationen oder Geometrien der amtlichen Vermessung – verschnitten werden können. Darüber hinaus lassen sich sinnvolle Nutzungspotenziale ermitteln, um beispielsweise Flächen mit verwertbaren Strohanteilen durch den Getreideanbau oder auch räumliche Potenziale durch verstärkt anfallenden Heckenschnitt bei landespflegerischen Maßnahmen zu bestimmen. Zudem können entsprechende Informationen zur optimierten Standortbestimmung, etwa von Biogasanlagen, eingesetzt werden.

Mit Blick auf landwirtschaftsbezogene Auswertungen erschließt sich der Wert der Satellitenfernerkundung insbesondere durch die kombinierte Auswertung von Spektralinformation und phänologischen Entwicklungskurven (z. B. von Vegetationsindizes). So setzen Esch et al. (2013) hochauflösende multisaisonale Aufnahmen der Sensoren LISS-3 (23,5 m räumliche Auflösung) und AWiFS (56 m räumliche Auflösung) des Satelliten IRS-P6 zur flurstückbezogenen Klassifikation von Grünland und Hauptanbauarten von Ackerfrüchten ein. Ziel des vorgestellten Ansatzes ist es, eine Methodik bereitzustellen, die eine schnelle und flexible Erfassung und Aktualisierung von Anbaumustern für vorgegebene Interessensgebiete ermöglicht. Das Ergebnis einer solchen Auswertung ist in Abbildung 2 dargestellt.

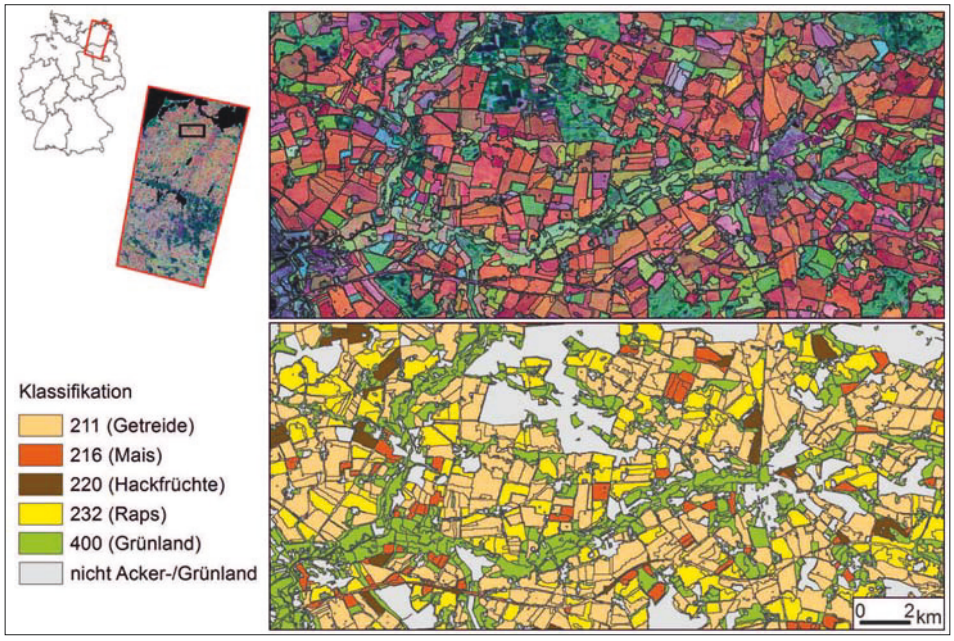

Abb. 2: Nutzung multisaisonaler Satellitenaufnahmen (oben) zur Bestimmung der landwirtschaftlichen Anbaumuster (unten) (Quelle: DLR)

2.3 Bestimmung siedlungsstruktureller Standortbedingungen zum Aufbau von Wärmenetzen

Der verstärkte Einsatz effizienter Energietechniken ist sowohl zur Erreichung von Klimaschutzzielen als auch zur Etablierung einer nachhaltigen Energieversorgung unabdingbar. Dem Ausbau von Nah- und Fernwärmenetzen – speziell in Kombination mit Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) sowie der gesteigerten Nutzung regenerativer Nahwärme – kommt dabei zentrale Bedeutung zu. Um das Potenzial zum Aufbau einer leitungsgebundenen Wärmeversorgung zu bewerten, ist eine Analyse der siedlungsstrukturellen Gegebenheiten und des daraus resultierenden Entwicklungspotenzials erforderlich. Ein wichtiger Baustein ist hier die Bestimmung des aktuellen, bundesweiten Wärmenetzpotenzials, über das Aussagen bezüglich der physisch-strukturellen Standortbedingungen zur Nahwärmenutzung getroffen werden können. Das Wärmenetzpotenzial errechnet sich über den Quotienten aus jährlichem Wärmeenergiebedarf der Gebäude und Investitionskosten zur Bereitstellung der benötigten Wärme. Der entsprechende Kennwert repräsentiert die durch das Versorgungssystem jährlich erschließbare Wärmemenge (kWh/a) pro investierter Geldeinheit (Euro). Der spezifische Wärmeenergiebedarfswert hängt von Typ und Nutzung des Gebäudes, dem Baualter sowie den klimatischen Rahmenbedingungen ab. Die Abschätzung der Kosten für die Wärmeinfrastruktur basiert auf einer Analyse der Längen und zugehörigen Kosten für Hauptverteilungs- und Hausanschlussleitungen, die wiederum über eine Auswertung des Straßennetzes und der Lage der Gebäude modelliert werden kann. Der Wärmebedarf setzt sich aus dem Gebäudevolumen und dem spezifischen Wärmebedarfswert zusammen, während die Investitionskosten alle Aufwendungen für Verteilnetz, Anschlussleitungen, Hausübergabestationen sowie die Einsparungen für Heizkessel einschließen.

Abbildung 3 zeigt das Ergebnis einer deutschlandweiten Analyse des Wärmenetzpotenzials, das über eine Kombination von Top-down und Bottom-up Ansatz unter Nutzung von Verfahren der digitalen Bildanalyse und geographischer Informationssysteme ermittelt wurde (DLR 2011). Der Top-down Ansatz kommt bei der Abschätzung des Wärmebedarfs auf Grundlage von Daten zum Gebäudebestand und der klimatischen Situation zum Einsatz. Der Gebäudebestand wird dabei durch Infas-Geodaten zu Gebäudetyp (Ein-/Zwei-Familienhäuser, kleine und große Mehrfamilienhäuser) und Gebäudealter (neun Bauperioden) sowie Informationen des Statistischen Bundesamtes zur Gebäudenutzung (Wohngebäude, Nichtwohngebäude) bestimmt. Die klimatischen Gegebenheiten können mithilfe der vom Deutschen Wetterdienst bereitgestellten Gradtagzahlen dargestellt werden. Die Berechnung der leitungsgebundenen Investitionskosten erfolgt Bottom-up unter Einbeziehung von Daten des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS) zur Lage von Siedlungsflächen und dem Verlauf des Straßennetzes (Ermittlung Hauptverteilungs- und Hausanschlussleitungen) sowie unter Nutzung von Informationen zum Gebäudebestand (Lage, Grundfläche),

der aus Digitalen Topographischen Karten (DTK 25) extrahiert wird. Daten zur Lage, Grundfläche und sogar dem Volumen von Gebäuden sind zwar bundesweit bereits als Geodatensatz verfügbar (z. B. Hausumringe oder 3D-Gebäudemodell LoD1), allerdings verhindern die hohen Anschaffungskosten von ~100.000 Euro bzw. 350.000 Euro derzeit eine umfassendere Nutzung.

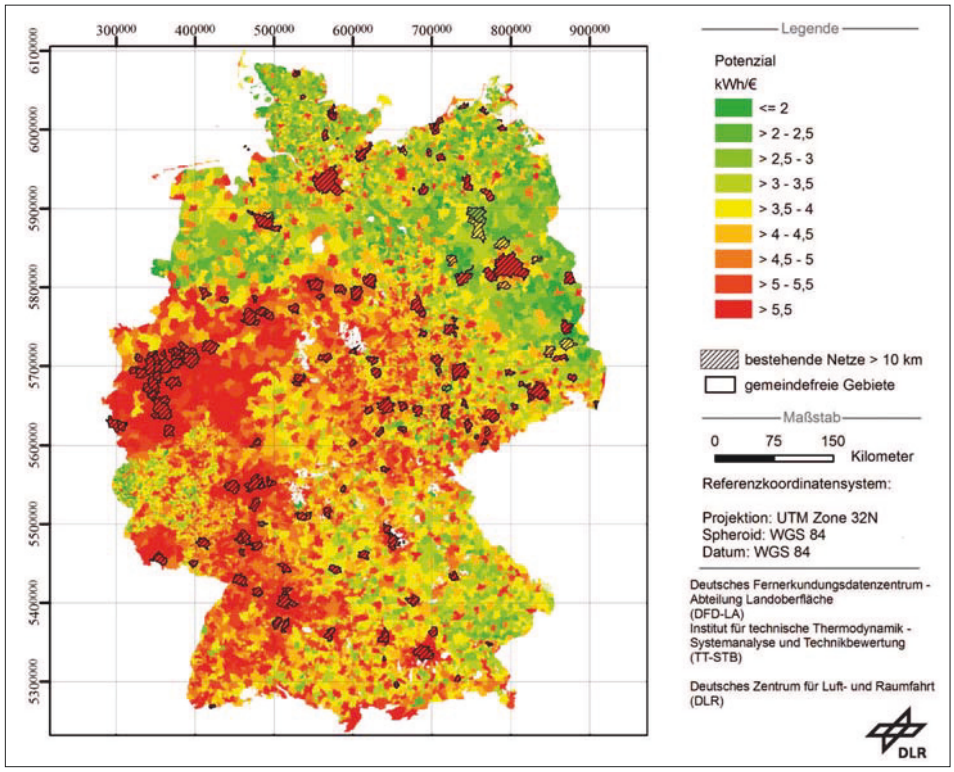

Abb. 3: Wärmenetzpotenzial der Gemeinden in Deutschland im Jahre 2011 ohne Berücksichtigung der Kosten einer konventionellen Wärmebereitstellung (Quelle: DLR)

Die Ergebnisse der Auswertung zeigen, dass das Wärmenetzpotenzial neben dem örtlichen Wärmebedarf stark von der Länge der Wärmeverteilleitungen abhängt. Diese ist eng an die Siedlungsstruktur gekoppelt. Daher weisen insbesondere Kernstädte und deren verdichtetes Umland hohe Werte auf, während der ländliche Raum über vergleichsweise geringe Potenziale verfügt. Grundsätzlich werden in der Südhälfte Deutschlands weithin günstige, im Nordosten hingegen relativ ungünstige Strukturen angetroffen.

3 Fazit

Die satellitengestützte Fernerkundung bietet vielseitige Chancen zur Bereitstellung von Geoinformationen für energiebezogene Fragestellungen. Die bisherigen Ergebnisse

und Erfahrungen zeigen, dass die Erdbeobachtung insbesondere hinsichtlich der Potenzialermittlung, der aktuellen Bestandserhebung sowie dem Monitoring von Veränderungen und Trends wichtige Beiträge leisten kann. Vorteile gegenüber etablierten Ansätzen und/oder Datenbeständen ergeben sich in diesem Zusammenhang vor allem bezüglich Aktualität, Flächendeckung, Vergleichbarkeit, räumlicher Detaillierung, Fortschreibung sowie Kosten. Nichtsdestotrotz ist eine operationelle Bereitstellung der erforderlichen, fernerkundungsgestützten Geoinformationsprodukte in Form zuverlässiger Dienste zentral für eine kommerzielle Produktion und somit letztlich für eine erfolgreiche Etablierung im Sektor der Planung und Verwaltung. Eckpfeiler sind in diesem Kontext die Gewährleistung einer hohen räumlichen, zeitlichen und qualitativen Kontinuität, transparente und verlässliche Beschaffungskosten und -modalitäten sowie die Nutzung von Synergien (etwa mit bestehenden Geodatenbeständen der amtlichen Vermessung). Unklare Verantwortlichkeiten, Bedarfe und Nutzeranforderungen erschweren jedoch aktuell gezielte Entwicklungen. Vor diesem Hintergrund besteht ein besonderer Bedarf hinsichtlich der Koordinierung und Bündelung der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten zwischen den verschiedenen Akteuren aus Planung/Verwaltung, Wirtschaft und Wissenschaft. Ein vernetztes und konzertiertes Vorgehen ermöglicht die effektive Erschließung und Nutzung vorhandener Expertisen und Synergien. Zugleich sollte eine enge Anbindung an das GMES/Copernicus-Umfeld gewährleistet werden, um auf diese Weise die Anforderungen hinsichtlich Datenkontinuität und Servicebereitstellung zu erfüllen.

4 Literatur

DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (2011): Potenzialanalyse zum Aufbau von Wärmenetzen unter Auswertung siedlungsstruktureller Merkmale. Endbericht (BMVBS/BBSR FKZ 3004775). www://elib.dlr.de/76816/1/Waermenetzpotenzial_DLR_Endbericht_final.pdf (Zugriff: 02.07.2013).

DMK – Deutsches Maiskomitee e. V. (2013): Bedeutung des Maisanbaues in Deutschland. www.maiskomitee.de/web/public/Fakten.aspx/Statistik/Deutschland (Zugriff: 02.07.2013).

Esch, T.; Metz, A.; Keil, M.; Marconcini, M. (2013): Combined use of multi-seasonal high and medium resolution satellite imagery for parcel-related updating of cropland and grassland distribution. Int. J. Applied Earth Observation and Geoinformation, Special Issue „EO agriculture and agri-environmental monitoring". Submitted.

Tum, M.; Buchhorn, M.; Günther, K. P.; Haller B. C. (2011): Validation of modeled forest biomass in Germany using BETHY/DLR. Geosci. Mod. Develop., 4, 1019-1034.

Tum, M.; Günther, K. P.; Kappas, M. (2013): A process-based vegetation model for estimating agricultural bioenergy potentials. In: Ruppert, H.; Kappas, M.; Ibendorf J. (Hrsg.): Sustainable Bioenergy Production – An integrated approach. Springer, Dordrecht.